

岩体结构对软岩边坡破坏模式的影响分析

邱德俊¹, 何 菁², 许宝田³

(1. 南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210022;

2. 南京市水利建筑工程检测中心有限公司, 江苏 南京 210008;

3. 南京大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210046)

摘要: 岩石边坡的破坏模式和稳定性受岩体结构控制, 对开挖边坡而言, 在确定的边坡几何条件下, 边坡可能具有多种破坏模式。不同破坏模式下边坡的稳定性系数不同, 对稳定性系数不满足安全要求时需对边坡采取加固措施。对门家山软岩边坡而言, 可能发生的破坏模式有平面型、楔型和圆弧型, 根据稳定性系数计算结果, 平面型稳定性系数最低, 其余两种模式稳定性系数均能满足安全要求, 但圆弧型破坏模式的稳定性系数偏低, 故建议针对两种破坏模式采取针对性加固措施。

关键词: 岩体结构; 边坡稳定; 软岩

中图分类号: TV861

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2017) 08-0020-05

Influence analysis of rock mass structure on slope failure mode of soft rock

QIU Dejun¹, HE Jing², XU Baotian³

(1. *Nanjing Water Planning and Designing Institute Co., Ltd, Nanjing 210022, Jiangsu;*

2. *Nanjing City Water Conservancy Construction Engineering Testing Center Co., Ltd, Nanjing 210008,*

Jiangsu; 3. School of Earth Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210046, Jiangsu)

Abstract: The failure modes and stability of rock slope are controlled by rock mass structure. For excavation slope, there are multiple destruction modes under the conditions of specified slope geometric. The stability coefficients of the slope are different in different destruction modes, and reinforcement measures for slopes should be taken when the stability coefficient doesn't meet the safety requirements. For soft rock slope of Mount Menjia, there are three possible slop failure modes such as plane type, wedge type and arc type. According to the results of stability coefficient calculation, the stability coefficient of plane type was the lowest, and the other two modes could both meet the security requirements. However, the stability coefficient of circular arc failure mode was a little lower. Therefore, taking targeted reinforcement measures against the two failure modes should be recommended.

Key words: rock mass structure; slope stability; soft rock

0 引言

岩体结构的均质性, 在排除岩性条件差异后, 主要取决于岩体中结构面的不同特征^[1]。岩体结构

控制论认为, 岩体是由结构面和结构体组成, 其不同组合方式使岩体表现出不同的变形及破坏特征^[2-3]。对于软岩边坡而言, 由于岩块强度偏低, 如果岩体中结构面较发育导致岩体强度偏低的情

收稿日期: 2017-05-24

基金项目: 江苏省水利科技项目(2016054); 江苏省国土厅、江苏省地质矿产局科技项目(2015-KY-4)资助项目。

作者简介: 邱德俊(1985-), 男, 研究生, 工程师, 研究方向为地质工程专业。

况下,其破坏类型除了可能发生沿结构面的平面、楔型和倾倒型破坏外,还可能发生类似于均质黏性土的圆弧型破坏,不同破坏模式的稳定性系数计算结果也可能不一样。对开挖边坡而言,在进行开挖设计时必须对所有可能的破坏模式调查清楚。

南京秦淮东河新开河道在门家山地段开挖后形成的人工边坡最大高度接近 40 m,故该段边坡稳定性问题是河道工程的关键技术问题。岩体中发育包括层面在内的多组结构面。根据钻孔取芯进行室内试验结果,岩石大多数样品饱和单轴抗压强度小于 10 MPa,根据有关规范^[4]确定该类岩石为软岩到极软岩。

本文根据现场地质调查和试验分析结果,以秦淮东河门家山段软岩边坡为例,对其岩体结构条件下的边坡破坏类型及稳定性进行分析。

1 工程地质条件

根据现场调查,门家山边坡岩体主要为象山群(J_{1-2xm})砂岩,主要矿物成分为石英和长石,铁质、泥质胶结,岩石遇水易软化,强度低,以中等风化为主。边坡岩体中的结构面主要包括层面和节理面,露头范围内未见有大的断层。岩体结构类型主要为层状结构、块状结构和碎裂结构,根据工程地质分析认为,对边坡稳定性起主要控制作用的结构面主要包括 4 组。第一组:层面,倾角 16°~37°,倾向 294°~313°;第二组:节理(J₁),倾角 65°~74°,倾向 124°~163°;第三组:节理(J₂),倾角 66°~77°,倾向 64°~80°;第四组:节理(J₃),倾角 30°~70°,倾向 198°~258°。结构面基本工程地质特征见表 1,岩体及结构面物理、力学

参数见表 2。

2 边坡破坏类型分析

2.1 边坡开挖方案

根据规划设计要求,未来河岸地表标高约 13.0 m 左右,开挖后河底标高为 3.0 m,故考虑河岸以下放坡坡比为 1:2.5,在 8.0 m 标高处设置宽 2.5 m 平台,在 13 m 标高设置宽 10.0 m 平台,作为未来防洪通道,在平台以上分 2~3 级放坡,在坡面台阶高度处设置 2.0 m 宽减压平台,平台上下坡比设计为 1:1(图 1)。

2.2 破坏模式

根据岩体结构特征,该边坡岩体结构具有层状和碎裂状的特征,层状结构条件下在多组结构组合条件下可能发生沿结构面的滑动,故应根据极射赤平投影法结合相关力学参数,对不同结构面组合、坡度条件下,对可能发生的破坏类型进行分析。

根据铜家山边坡开挖后的形态要素和岩体结构、力学条件,极射赤平投影法判定边坡破坏模式的前提条件:

- (1) 边坡形态要素:边坡倾向 NW330°,坡度按 45°考虑;
- (2) 岩体结构:根据前述分析,共有 4 组优势结构面,结构面力学指标根据表 2 确定。

表 2 岩体力学参数表

岩体 / 结构面	重度 /kN · m ⁻³	内聚力 /kPa	摩擦角 /°
中风化岩	25.0	120	27
结构面		0	26

本次分析采用极点法进行判定,根据现场测

表 1 结构面工程地质特征

结构面	优势等级	粗糙度		对应结构体	张开度	透水	工程地质特征
		第一	第二				
层面	Ⅲ、Ⅳ	波状起伏	粗糙	Ⅲ、Ⅳ	闭合	湿润	切割山体、岩体,影响山体、岩体稳定性
J ₁	Ⅳ	波状起伏	粗糙	Ⅳ	闭合	湿润	影响岩体稳定性和岩体力学性质
J ₂	Ⅳ	波状起伏	粗糙	Ⅳ	闭合	湿润	影响岩体稳定性和岩体力学性质
J ₃	Ⅳ	波状起伏	粗糙	Ⅳ	闭合	湿润	影响岩体稳定性和岩体力学性质
微层理	V	平直	粗糙		闭合	不透水	影响岩块力学性质

注:第一粗糙度指大尺寸范围内的结构面起伏特征,第二粗糙度指小尺寸范围内结构面手摸感觉。

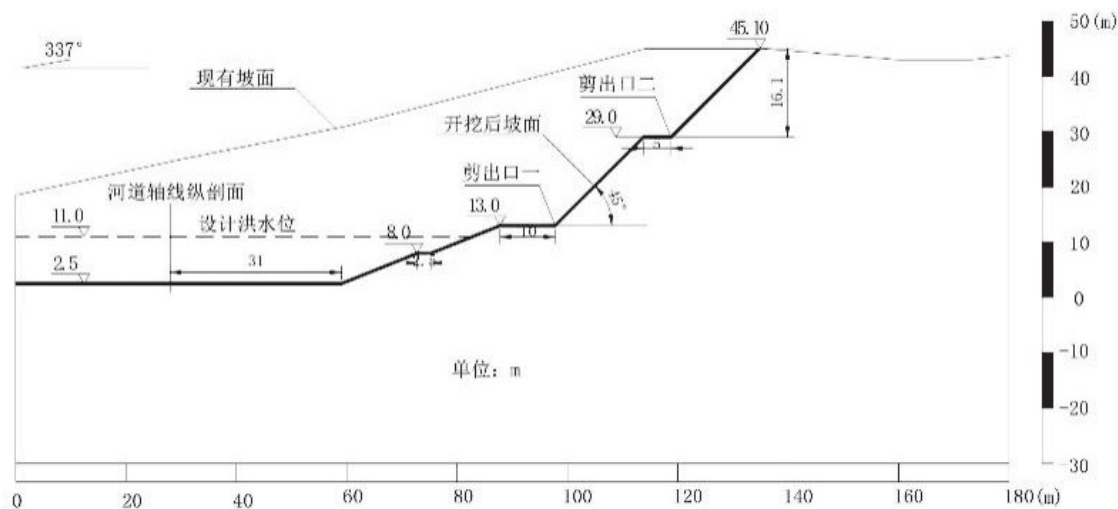


图1 门家山—麻石山典型放坡剖面

得的所有结构面产状(包括所有节理、层面)得到极点分布图,在极点分布图上对平面型、楔型等所有可能的情况按 45° 坡角组合进行分析,考虑侧限为 20° ,结构面摩擦角按 26° 考虑。基本步骤为:(1)按坡面产状绘制坡面大圆;(2)按岩体结构面摩擦角绘制摩擦圆;(3)按坡面的倾向线和倾角绘制边坡可能滑动区;(4)绘制出倾倒区;(5)绘制结构面及其交线的极点;(6)根据结构面极点或交线极点落入对应区域判定边坡可能破坏类型。

根据极射赤平投影分析结果,岩石边坡优势面组合条件下可能发生的所有滑动型破坏模式主要有平面型和楔型两种(图2)。

发生哪种类型滑坡则要根据对应模式下稳定性系数计算结果决定。

3 稳定性计算

(1) 平面型滑动

结合放坡和地形条件,13.0 m 标高以上台阶高度可能随地形发生变化,边坡高度越大,楔型体体积越大。根据《水利水电工程边坡设计规范》(SL 386-2007)本边坡为1级边坡,正常条件下安全系数应达到1.30,在非常运用条件下(地震、洪水条件),边坡的安全系数(F_s)应达到1.15~1.10。根据计算结果,边坡在特殊工况下开挖后稳定性

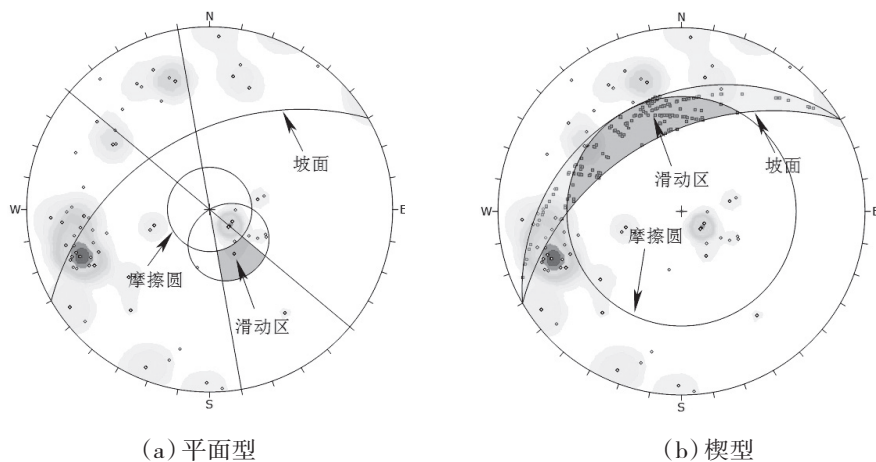


图2 边坡破坏类型分析

此外,岩体中发育4组结构面,岩体也具有碎裂结构的特征,且岩体的强度偏低,故边坡也可能发生类似于土体的圆弧的滑动。具体边坡可能

系数均小于1.00,可能发生平面滑动,故本次验算对岩体采取锚固措施后重新计算,当考虑锚杆水平、垂直间距为2.0m,单根锚杆锚固力为100kN

时计算得稳定性结果见表 3, 采取锚固措施后稳定性系数满足安全要求。

表 3 平面滑动稳定性

工况	正常	非常	备注
稳定性系数	< 1.0	< 1.0	不锚固
	1.31	1.23	锚杆间距 2.0 m

(2) 楔型滑动

根据现场量测结构面产状组合分析, 发现 J_3 和 J_4 两组结构面组合形成的楔型体, 该组合条件下楔型体滑动方向为 $NW326^\circ$, 倾角 13° , 计算得稳定性系数结果见表 4。

表 4 楔型体稳定性系数计算结果

工况	正常	非常
稳定性系数	2.844	1.855

(3) 圆弧型滑动

根据《水利水电工程边坡设计规范》(SL 386—2007) 对于土质边坡和呈碎裂结构、散体结构的岩质边坡当滑动面呈圆弧形时宜采用简化毕肖普(Bishop)法、摩根斯顿普赖斯(Morgenstern-Price)法和 Janbu 法多种方法进行抗滑稳定计算, 并综合判断取值。计算时采用专门针对边坡稳定性计算的 Slide 软件。

根据规范, 结合地质条件和边坡功能, 初步考虑放坡方案如图 1, 根据边坡圆弧型破坏的特征, 剪出口一般位于坡脚或台阶, 对不同剪出口位置分别进行计算。根据上述方案, 采用不同极限平衡方法对门家山边坡开挖后不同工况条件下的稳定性系数计算结果见表 5。不同剖面对应滑面剪出口位置见图 3。

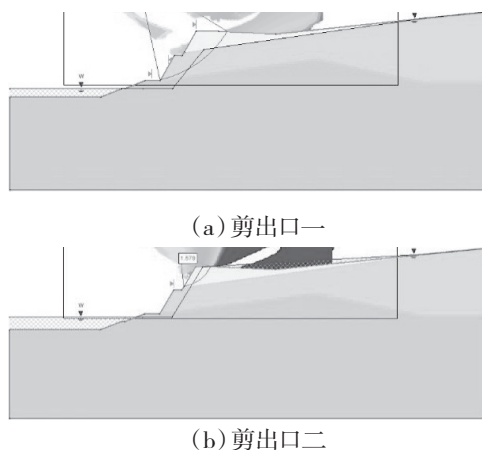


图 3 不同剪出口可能潜在滑面位置

表 5 圆弧型滑动稳定性系数计算结果

稳定性系数		方法		
		Bishop	Morgenstern	Janbu
剪出口 1	正常	1.398	1.394	1.389
	非常	1.105	1.103	0.932
剪出口 2	正常	1.725	1.786	1.786
	非常	1.376	1.378	1.384

针对边坡可能发生圆弧型破坏的情况, 门家山边坡圆弧型破坏的稳定性系数均满足安全要求。当坡面台阶坡度为 45° 时, 潜在圆弧型滑动面在特殊工况下的最小稳定性系数除 Janbu 法外均大于 1.10, 基本满足规范规定的安全性要求, 但安全储备不高, 特别 Janbu 法的计算结果偏低。

根据上述计算结果表明, 对于门家山边坡而言, 可能发生的 3 种破坏模式中, 平面型滑动的稳定性系数最低, 其余两种破坏模式的稳定性系数均能满足安全性要求, 故边坡开挖后最可能发生滑动破坏的模式为平面型。

本文所分析软岩边坡圆弧型破坏模式的稳定性系数基本能满足安全系数要求, 但稳定性总体偏低(剪出口一), 表明软岩边坡的破坏模式可能不止一种。

4 结论

本次采用极射赤平投影法对南京秦淮东河门家山边坡的破坏模式和稳定性进行分析得到有关结论如下:

(1) 岩石边坡的破坏模式在岩体结构条件控制下可能具有多种破坏模式。

(2) 对于软岩边坡而言, 在层状、碎裂结构条件下, 破坏模式除了发生沿结构面的滑动之外, 还可能发生类似于均质黏性土坡的圆弧型滑动, 具体发生何种滑动破坏应根据具体模式下的稳定性系数最低值确定。

(3) 对于门家山边坡而言, 可能发生的破坏模式有平面型、楔型和圆弧型, 稳定性系数计算结果表明, 平面型稳定性系数最低, 故该边坡最有可能发生的滑动破坏为平面型, 但圆弧型破坏模式的安全系数也偏低, 故在边坡开挖加固设计时也应圆弧型破坏模式予以足够的考虑。

参考文献:

- [1] 杨春和,包宏涛,王贵宾,等.岩体节理平均迹长和迹线中点面密度估计[J].岩石力学与工程学报,2006,25(12):2475-2480.
- [2] 孙广忠.岩体结构力学[M].北京:科学出版社,1988.
- [3] 刘传正,刘艳辉,连建发.长江三峡巴东复杂斜坡系统成因研究[J].地质评论,2006,52(4):510-521.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.水利水电工程地质勘察规范[S].中国计划出版社,2008.

(责任编辑:徐丽娜)

